

ОХОРОНА ПРИРОДИ

УДК 574.45:631.4 (477.83)

<http://orcid.org/0000-0002-7165-5341>**ПУЛИ І ПОТОКИ ВУГЛЕЦЮ В ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ
СТРИЙСЬКО-СЯНСЬКОЇ ВЕРХОВИНИ (УКРАЇНСЬКІ КАРПАТИ)**

Рожак В.П.

Інститут екології Карпат НАН України, м. Львів

Досліджено основні пули та потоки, а також баланс вуглецю та NEP найбільш репрезентативних лісових екосистем Стрийсько-Сянської Верховини. Співвідношення запасів C_{org} в досліджуваних екосистемах має вигляд: $C_{фітомаса} > C_{гумус} > C_{фітодетрит}$. Баланс вуглецю розраховувався за співвідношенням Rh і NPP. Встановлено, що досліджувані екосистеми на сучасному етапі розвитку характеризуються збалансованістю процесів NPP і Rh, про що свідчать незначні величини NEP.

Ключові слова: лісові екосистеми, вуглець, NPP, NEP, C-CO₂, запаси, потоки, мінералізація.

Pools and fluxes of carbon within forest ecosystems of Stryi-San Highland (Ukrainian Carpathians). Rozhak V. – The main pools and fluxes of carbon balance and NEP of the most representative forest ecosystems of Stryi-San Highland were investigated. The balance of the stocks of C_{org} in the studied ecosystems is: $C_{phitomas} > C_{humus} > C_{phytodetryt}$. Carbon balance was calculated by the ratio Rh and NPP. The studied ecosystems in the current development processes are characterized by the balance of NPP and Rh, according to the small values of NEP.

Key words: forest ecosystem, carbon, NPP, NEP, C-CO₂, stocks, flux, mineralization, Stryi-San Highland.

ВСТУП

Актуальність дослідження циклу вуглецю в наземних екосистемах пов'язана з оцінкою глобальних змін клімату. Ця проблема визнана міжнародною спільнотою, що призвело до підписання Рамкової конвенції ООН щодо зміни клімату (1992) та Кіотського протоколу (1997), який Україна ратифікувала в 2004 р., і який передбачає щорічну інвентаризацію та контроль стоку й емісії парникових газів у всіх секторах економіки, у тому числі й в лісовій галузі. Кожна з країн, що бере участь у Кіотському процесі, повинна володіти даними щодо оцінки запасів та параметрів циклу вуглецю на регіональному та національному рівнях. Згідно з доповіддю Міжурядової групи експертів зі змін клімату (2001), за останні 100 років середня температура земної поверхні збільшилась на 0,6° C, а концентрація діоксиду вуглецю в атмосфері – на 90 ррт (на 30%). У зв'язку з цим актуальними є розробка та вдосконалення методів оцінки балансу вуглецю в окремих природних регіонах

та облік поглинання парникових газів, включаючи оцінку запасів вуглецю наземної і підземної фітомаси лісових екосистем.

Одним із пріоритетних напрямків сучасних екологічних досліджень є встановлення ролі лісових екосистем окремих регіонів у глобальному циклі вуглецю. Біосферна роль лісів полягає у стабілізації рівня атмосферного CO_2 та визначається кількісним і якісним складом органічної речовини, що акумульована у фітомасі, фітодетриті та органічній речовині ґрунту. Із позицій циклу вуглецю лісові екосистеми – це система блоків-резервуарів, пов'язаних між собою відповідними потоками [14]. Запаси вуглецю в блоках та інтенсивність обмінних процесів – основні параметри, що описують цикл вуглецю. Пул органічної речовини у блоках забезпечується взаємодією двох груп процесів: фотосинтетичною асиміляцією вуглецю атмосфери (NPP) та його вивільненням у процесі розкладу чи міграції (рис.1). Спрямованість та інтенсивність цих потоків визначає величину чистої екосистемної продукції (NEP) та «вуглецеву ємність» лісових екосистем регіону.

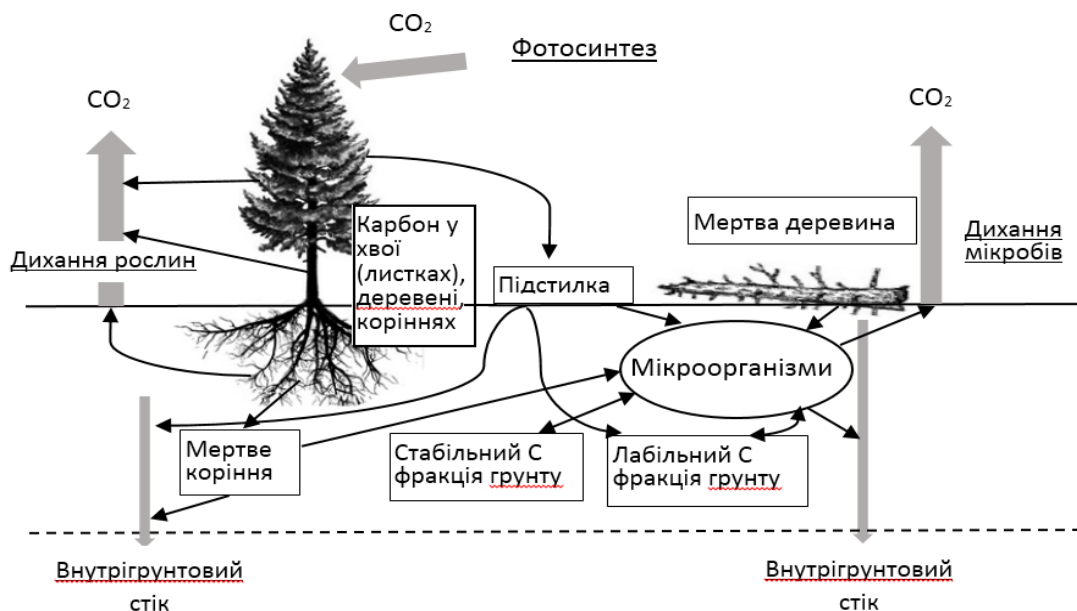


Рис.1. Динамічні резервуари вуглецю і основні потоки CO_2 в лісових екосистемах

В Україні розрахунки фітомаси та запасів вуглецю в лісових екосистемах переважно оцінюються за матеріалами державного обліку лісового фонду. В основу визначення депонування вуглецю покладено два методи: перший – за динамікою зміни запасів, другий – за таблицями ходу росту. Така інформативна база є недостатньою для визначення NPP, NEP, NBP основних типів лісових екосистем. При проведенні лісової таксації детритний блок в основному ігнорують або проводять його облік в місцях значного накопичення в категоріях «сухостій» та «захаращення» [19]. Незважаючи на значну кількість досліджень та наукових публікацій, присвячених вивченню параметрів вуглецевого циклу в лісових екосистемах та його математичному

моделюванню, наразі недостатньо фактичних даних щодо запасів органічної речовини, акумульованої в піднаметовому ярусі, коренях деревних і трав'яних рослин, у стовбуровому фітодетриті, а також інтенсивності міграції, мінералізації і гуміфікації органічного матеріалу. Така ситуація суттєво ускладнює побудову балансових моделей вуглецю в лісових екосистемах і зменшує точність оцінки його пулів і потоків на регіональному рівні.

Мета роботи – оцінка основних пулів та потоків, а також балансу вуглецю та NER найбільш репрезентативних лісових екосистем Стрийсько-Сянської Верховини.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єкти досліджень розташовані на території фізико-географічного району Стрийсько-Сянської Верховини, яка належить до Вододільно-Верховинської фізико-географічної області Українських Карпат. За геоботанічним районуванням це район ялиново-букових і ялицево-ялиново-букових лісів [4]. Дослідні ділянки локалізовані в межах двох кварталів (8; 38) підприємства ДП «Боринське» ЛГ Львівського ОУЛМГ і розташовані в межах висот 658-775 м.н.р.м. (табл.1, рис. 2).

Таблиця 1

Коротка характеристика та локалізація дослідних ділянок

Назва та номер дослідної ділянки	Формула деревостану, бонітет, повнота	Вік, роки	Експозиція, крутизна схилу, висота н.р.м.	Координати
1 Ялицево-буковий ялинник мертвопокровний	Ял4Бк4Яц2, Іа; 0,63	30	Сх, 3-5°, 775 м	49°05'40,13" 23°01'11,53"
2 Буковий ялинник папоротево-ожиновий	Ял9Бк1, Іа; 0,6	45	Пн-сх., 2-4° 687 м	49°05'19,36" 22°58'17,61"
3 Буково-дубовий ялинник зеленчуково-ожиновий	Ял6ДЗБк1, Іа; 0,82	50	Пн-сх, 3-5°, 658 м	49°05'40,52" 22°58'34,92"
4 Ялицевий-ялинник ожиновий	Ял6Яц4, Іа; 0,47	70	Вирівняна 0°, 730 м	49°06'26,57" 22°59' 29,87"
5 Буково-ялиновий яличник ліщиново-ожиново-папоротевий	Яц8Ял1Бк1, Іа; 0,55	110	Сх, 8-10°, 769 м	49°05'42,26" 23 01' 16,41"

Для усіх дослідних ділянок проведена подеревна таксація за методикою статистичної інвентаризації [11] з використанням польової GISField-Map. Для визначення запасів компонентів фітомаси деревного ярусу використовували регресійні рівняння [2, 9]. Запас підросту визначали за модельними деревами, а трав'яно-чагарничкового та мохового ярусів – методом укосів. На дослідних ділянках проведений суцільний облік компонентів фітодетриту.

Для розрахунку приросту біомаси (NPP) використали регресійні рівняння [20]. Приріст гілок, хвої (листя) та коріння визначали за співвідношенням від приросту стовбура, яке отримали за результатами досліджень приросту мішаних лісів на території Бескидського регіону (Українські Карпати) [5]. Приріст коріння дерев приймався рівним півсумі поточного приросту (у відсотках) стовбурів і гілок [8]. Приріст підліску визначали за масою асимілюючого апарату.

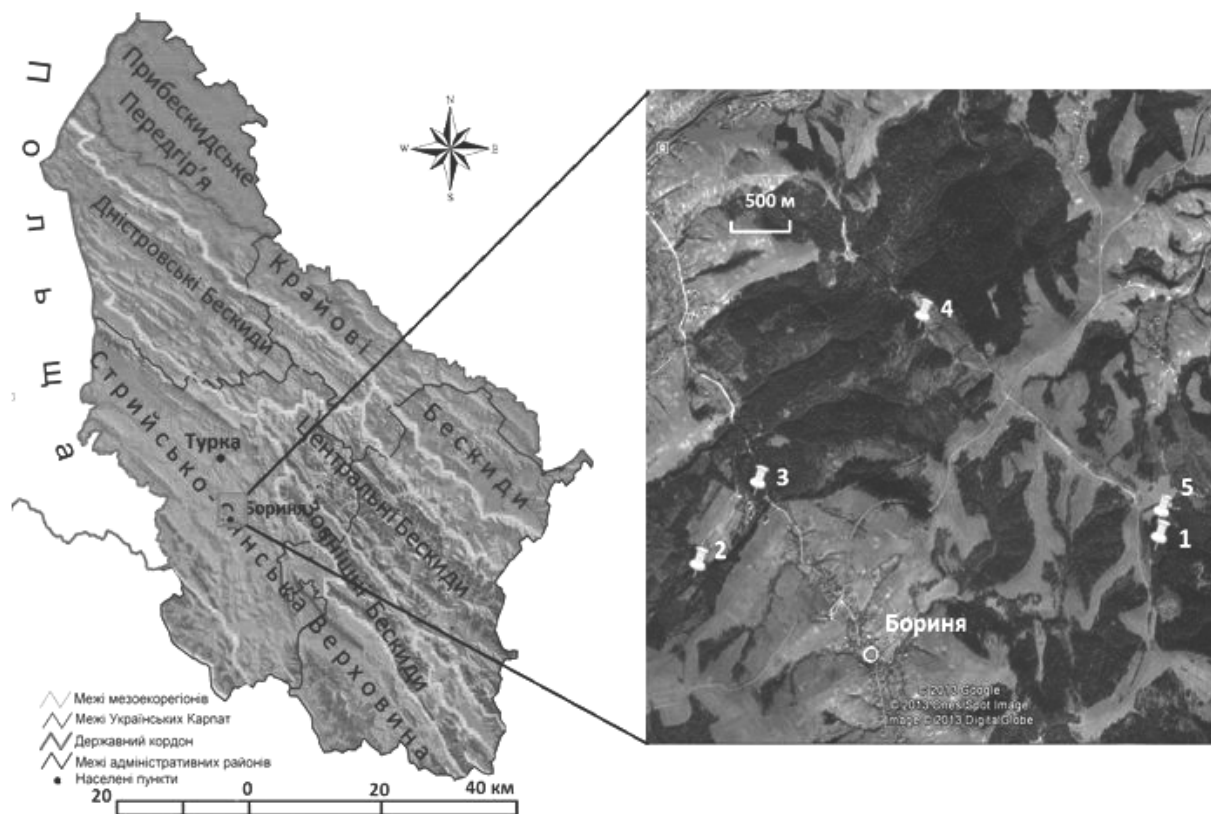


Рис. 2. Розташування дослідних ділянок на території Стрийсько-Сянської Верховини: 1 – ялицево-буковий ялиничник мертвопокровний; 2 – буковий ялиничник папоротево-ожиновий; 3 – буково-дубовий ялиничник зеленчуково-ожиновий; 4 – ялицевий-ялиничник ожинний; 5 – буково-ялиновий яличникліщиново-ожиново-папоротевий

Початку визначення приросту трав'яно-чагарничкового ярусу передувало вивчення життєвих форм, видової структури, проективного покриття рослин, що формують цей ярус. Рослини розділяли на фракції (листя, пагони, коріння), та, за літературними даними їх онтогенезу, встановлювали приріст. Через незначні запаси мохового ярусу його приріст не враховувався.

Визначення вмісту органічного вуглецю в ґрунті проводили за методом Нікітіна [13]. Вміст водорозчинних органічних речовин у рослинних і ґрунтових зразках визначали згідно ДСТУ 4731: 2007 [12].

Інтенсивність потоку CO_2 з підстилки 0-20 см шару ґрунту визначали у відібраних ґрунтових монолітах (об'ємом 1500 см^3) методом макрореспірометрії з титрометричним закінченням [6].

Сумарний мінералізаційний потік складається з потоків CO_2 за рахунок розкладу підстилки, грубих деревних залишків (CWD), ґрунтового фітодетриту та мінералізації лабільних форм гумусу. Ступінь мінералізації органічної речовини може бути оцінений через CO_2 , що виділяється в екосистемі за рік, тобто через величину гетеротрофного дихання (Rh).

Величина чистої екосистемної продукції (NEP) визначалась як різниця інтенсивності процесів продукційної та деструкційних ланок кругообігу вуглецю: $\text{NEP} = \text{NPP} - \text{Rh}$.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Запаси вуглецю ($C_{\text{орг}}$) в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини становлять $144,71\text{-}271,73 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$. Частка вуглецю фітомаси становить від 52,9 до 71,5%. Участь фітодетриту у формуванні екосистемного пулу $C_{\text{орг}}$ є незначною (6,1-17,4%) (табл. 2). Частка запасів $C_{\text{орг}}$ в 50-сантиметровому шарі ґрунту від загального $C_{\text{орг}}$ в лісових екосистемах становить 20,8-29,6%, що є наслідком легкого гранулометричного складу ґрунту та промивного режиму, які не сприяють закріпленню новоутворених гумусових сполук у ґрунтовому профілі за рахунок інтенсивного внутріґрунтового стоку та геохімічної міграції водорозчинних сполук вуглецю.

Співвідношення запасів $C_{\text{орг}}$ в досліджуваних екосистемах має вигляд:

$$C_{\text{фітомаса}} > C_{\text{гумус}} > C_{\text{фітодетрит}}$$

Фракція органічної речовини, яка легко мінералізується ($C_{\text{лмор}}$), є основним джерелом формування потоку вуглецю до атмосфери у вигляді CO_2 . Вона складається з органічної речовини рослинних решток на поверхні і в ґрунтовому профілі, а також рухомої частини гумусових сполук ($C_{\text{роп}}$) [3; 15]. Її запаси фітодетриту та у 50-сантиметровому шарі ґрунту досліджуваних екосистем змінюється від 16 до $35,4 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ (табл. 2), що становить 18,3-37,7% від загального $C_{\text{орг}}$ фітодетриту і гумусу.

Таблиця 2

**Розподіл вуглецю в основних компонентах досліджуваних екосистемах
 Стрийсько-Сянської Верховини, т·С·га⁻¹**

Основні компоненти	Номер дослідної ділянки				
	1	2	3	4	5
фітомаси надгрунтової частини	72,05	81,49	124,5	111,71	167,33
в тому числі: <i>деревостан</i>	71,42	80,64	123,63	109,42	165,27
<i>підріст+підлісок</i>	0,61	0,32	0,39	1,56	1,35
<i>моховий ярус</i>	0,02	0,14	0,04	0,04	0,11
<i>трав'яно-чагарничковий ярус</i>	—	0,39	0,48	0,7	0,59
фітомаси підземної частини	23,79	24,32	31,34	25,33	27,05
в тому числі: <i>деревостан</i>	23,52	23,9	30,8	24,31	26,12
<i>підріст+підлісок</i>	0,27	0,15	0,18	0,75	0,68
<i>трав'яно-чагарничковий ярус</i>	—	0,28	0,36	0,27	0,25
фітомаси разом	95,9	105,8	155,8	137,0	194,4
фітодетрит надземна частина	14,56	31,99	12,99	19,67	17,69
в тому числі <i>CWD</i>	7,84	23,5	3,83	10,41	13,01
<i>підстилка</i>	6,71	8,49	9,16	9,26	4,67
фітодетрит підземна частина	1,28	2,78	1,77	5,3	3,23
фітодетрит разом	15,84	34,77	14,76	24,97	20,92
C_{орг} ґрунту (0-50 см)	33,04	59,27	69,82	68,15	56,44
C_{пор} ґрунту (0-50 см)	0,2	0,65	0,75	0,92	0,73
ЗАГАЛЬНИЙ ЗАПАС	144,71	199,8	240,4	230,2	271,7

Нумерація дослідних ділянок подана в табл. 1

Сумарна інтенсивність акумулювання вуглецю в NPP змінюється від 3,87 до 6,20 т·С·га⁻¹ (табл. 3). Основна його частина асимілюється деревним ярусом: від 87% в умовно корінному 110-річному буково-ялиновому яличнику до 99% у 30-річному ялицево-буковому ялиннику. Участь підросту і підліску в формуванні вуглецю є незначною 0,03-0,19 т·С·га⁻¹, що становить 0,6-3,1% від загальної асиміляції вуглецю екосистемою. Частка трав'яно-чагарничкового ярусу в загальному прирості становить від 0 до 9,8% та збільшується із збільшенням віку деревостану. Загалом у досліджуваних екосистемах із збільшенням віку спостерігається збільшення частки приросту C_{орг} у нижніх ярусах, що відповідає концепції про розвиток екосистеми в напрямку стабілізації, що в свою чергу забезпечується своєрідною компенсацією загальної продукції вуглецю за рахунок різних ярусів рослинності.

Дослідженням емісії діоксиду вуглецю з ґрунтового профілю встановлено, що найбільші показники виділення CO₂ характерні для екосистеми 70-річного ялицевого ялинника – 6,9 т·С·CO₂·га⁻¹·рік⁻¹ (рис. 2), що зумовлене передусім кількістю органічного вуглецю як в підстилці, так і в ґрунті.

Таблиця 3

Інтенсивність акумулювання вуглецю в чистій первинній продукції в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, т·га⁻¹·рік⁻¹

Рослинний ярус	Номер дослідної ділянки				
	1	2	3	4	5
Надгрунтова частина	3,87	4,85	5,32	6,14	4,88
Деревостан	3,81	4,45	4,88	5,43	4,24
Підріст+підлісок	0,06	0,04	0,03	0,19	0,17
Трав'яно-чагарничковий ярус	0,00	0,36	0,40	0,52	0,48
Підземна частина	0,86	1,10	0,98	0,97	0,54
Деревостан	0,86	1,03	0,89	0,91	0,48
Трав'яно-чагарничковий ярус	0,00	0,07	0,09	0,06	0,06
Разом	4,73	5,94	6,29	7,11	5,42

Нумерація дослідних ділянок подана в табл. 1

Подібну залежність виявлено в усіх досліджуваних екосистемах. Встановлено тісний кореляційний зв'язок із вмістом водорозчинного вуглецю в ґрунті та інтенсивністю виділення С-СО₂ (R=0,91), цей зв'язок є дещо вагомійший у порівнянні із результатами, що отримані для окремих Чорногорських екосистем Українських Карпат [17], де кореляція становила 0,74.

Позитивний зв'язок виявлений і для підстилки R=0,46. Узагальнення експериментальних даних дозволило встановити, що сумарний мінералізаційний потік (Rh) в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини становить 4,4-6,9 т·С-СО₂·га⁻¹·рік⁻¹. Потік вуглецю в атмосферу формується в результаті мінералізації рослинних решток і рухомих форм органічної речовини ґрунту (рис. 2).

Встановлено, що значна частина виділення діоксиду вуглецю зумовлена емісією з поверхні CWD, частка якого в досліджуваних екосистемах у загальному потоці С-СО₂ становить від 1 до 13%, що відповідає 0,06-0,8 т·С-СО₂·га⁻¹·рік⁻¹.

Кореляція між продукуванням корінням С-СО₂ і запасами його в трав'яно-чагарниковому ярусі встановлена на рівні R=6,3.

Величина чистої екосистемної продукції (NEP) є різницею інтенсивності процесів продукційної і мінералізаційної ланок кругообігу вуглецю. У клімаксових екосистемах за період декількох десятків років кількість чистої первинної продукції (NPP) переважно дорівнює величині мінералізації

органічної речовини. В окремі з цих років мінералізація може бути меншою чи більшою від продукції, бо обидва параметри мають певні флуктуації з року в рік, що пов'язано із коливанням кліматичних факторів, такий режим називають періодичним, а в середньому за період – стаціонарним [14]. У цілому прийнято вважати, що функції депонування вуглецю переважно властиві молодим і середньовіковим насадженням, а стиглі і перестійні насадження по відношенню до вуглецю виконують функцію збереження (консервацію), слабо поглинаючи CO_2 , або виступають «джерелом» вуглекислоти для атмосфери [7; 16].

Отримані результати співвідношення R_{hi} величини NPP дозволяють проаналізувати баланс вуглецю в екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини (рис. 3). Так, у процесі асиміляції у фітомасі 30-річного ялицево-букового ялинника акумулюється $4,72 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}$. При мінералізації фітодетриту в атмосферу вивільняється $4,36 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{га}^{-1}$, тобто це насадження є стоком $0,4 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{га}^{-1}$ до атмосфери, що становить 9% від приросту фітомаси.

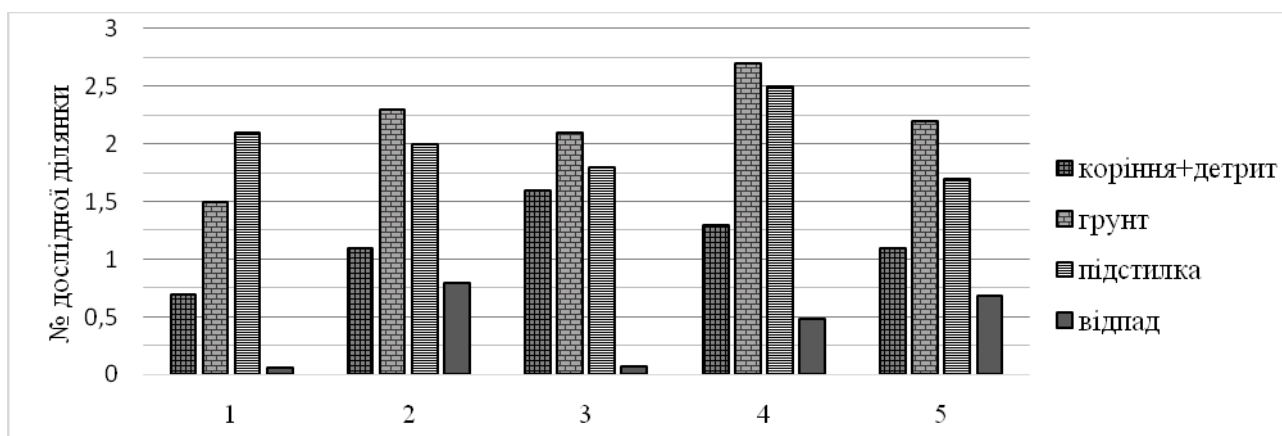


Рис. 3. Інтенсивність мінералізації компонентів ґрунтового блоку в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, $\text{т}\cdot\text{С}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}^{-1}$

Інше співвідношення продукційно-деструкційних процесів виявлене в екосистемі 45-річного букового ялинника, де інтенсивність потоку R_h перевищує на 5% продукцію насадження. Вагомим внеском у сумарний мінералізаційний потік є ламань, запаси якої сформувались внаслідок вітровалів. Тобто, на час дослідження 45-річні насадження є джерелом вуглецю в атмосферу у кількості $0,3 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{га}^{-1}$.

На даний час 50-річний буково-дубовий ялинник функціонує як стік вуглецю з атмосфери. Його NEP серед досліджуваних екосистем є найбільшою і становить $0,72 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{га}^{-1}$, що еквівалентно 12% від NPP. Це насамперед пов'язано з уповільненими процесами розкладу підстилки.

Найбільшою інтенсивністю та збалансованістю процесів, що формують NPP і R_h характеризується екосистема 70-річного ялицевого ялинника $7,11$ та $6,97 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}$ відповідно, а NEP становить $0,1$ тону вуглецю впродовж року.

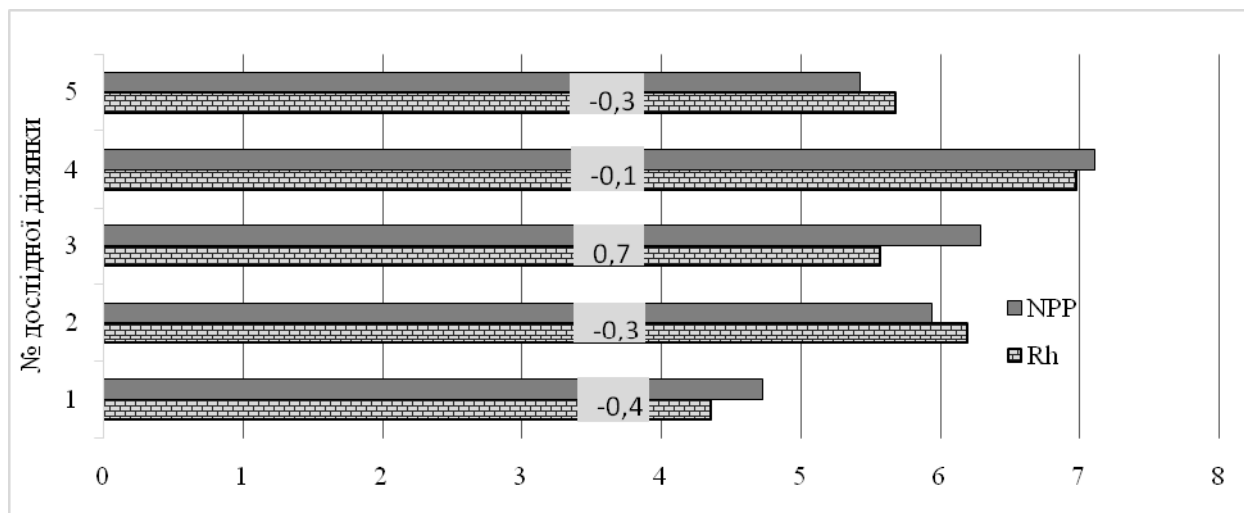


Рис. 4. Інтенсивність основних потоків вуглецевого циклу в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини $t \cdot C \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$.
Цифри на стовпцях відповідають величині $NER \cdot C \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$

У 110-річному буково-ялиновому яличнику виявлено від'ємний вуглецевий баланс $-0,3 \text{ t} \cdot \text{C} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$. В основному це пов'язано із меншою величиною NPP, що обумовлено менш ефективною фотосинтетичною асиміляцією стиглих насаджень за збереження показників Rh, які формуються за рахунок мінералізації $C_{\text{орг}}$ акумульованого в попередні роки функціонування екосистеми в резервуарах стовбурового фітодетриту, підстилки та ґрунту.

ВИСНОВКИ

Досліджувані екосистеми на сучасному етапі розвитку характеризуються збалансованістю процесів NPP і Rh, про що свідчать незначні величини NER.

Отримані результати запасів і потоків вуглецю можуть слугувати базою для параметризації математичних моделей, основою для створення та корегування регресійних рівнянь для визначення вуглецевого балансу та вуглецевої ємності окремих регіонів Українських Карпат.

Також результати мають важливе прикладне значення, оскільки Кіотський протокол перетворює додатково накопичений (секвестрований) вуглець у товар (15 \$ за 1 т секвестрованого вуглецю) за рахунок проведення спеціальних лісогосподарських заходів, зокрема лісовідновлення не лише на лісових, але й на малопродуктивних деградованих сільськогосподарських землях карпатського регіону у разі їх заліснення.

Література

1. Благодатский С. В., Ларионова А. А., Евдокимов И. В. Вклад дыхания корней в эмиссию CO_2 из почвы / С. В. Благодатский, А. А. Ларионова, И. В. Евдокимов // Дыхание почвы. – Пушино, 1993. ОНТИ НЦБИ. – С. 26-32.

2. Васишин Р. Д. Динаміка біопродуктивності повних ялицевих насаджень Українських Карпат / Р. Д. Васишин // Науковий вісник НЛТУ України. – 2013. – Вип. 23.8. – С. 23-27.

3. Ведрова Э. Ф. Структура органического вещества северо-таежных экосистем Средней Сибири / Э. Ф. Ведрова, Ф. И. Плешиков, В. Я. Каплунов // Лесоведение. – 2002. – № 6. – С. 3-12.

4. Голубец М. А., Малиновский К. А., Стойко С. М. Геоботаническое районирование Украинских Карпат / М. А. Голубец, К. А. Малиновский, С. М. Стойко // Докл. и сообщ. Львов. отдел. географ. о-ва УССР за 1964 г. – Львов: Изд-во Львов. ун-та., 1965. – С. 10-13.

5. Голубец М. А., Борсук Д. В., Гаврилюк М. В. и др. Биогеоценотический покров Бескид и его динамические тенденции / М. А. Голубец, Д. В. Борсук, М. В. Гаврилюк и др. – К. : Наукова думка, 1983. – 240 с.

6. Иванникова Л. А. Суточная и сезонная динамика изменения выделения CO₂ серой лесной почвой / Л. А. Иванникова // Почвоведение. – 1988. – № 1. – С. 134-139.

7. Исаев А. С. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России (Аналитический обзор) / А. С. Исаев, Г. Н. Коровин, В. И. Сухих, С. П. Титов, А. И. Уткин, А. А. Голуб, Д. Г. Замолдчиков, А. А. Пряжников. – М., 1995. – 156 с.

8. Казимиров Н. И. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера / Н. И. Казимиров [и др.]. – Л. : Наука, 1977. – 304 с.

9. Лакида П. І. Нормативна оцінка компонентів надземної фітомаси дерев головних лісотвірних порід України / П. І. Лакида, Р. Д. Васишин, А. Г. Лащенко, А. Ю. Терентьев. – К. : Видавничий дім «Еко-інформ», 2011. – 192 с.

10. Методичні вказівки із статистичної інвентаризації Угольсько-широколужанського букового пралісу / Рафаела Тіннер, Брігітте Коммармот, Петер Бранг, Урс-Бенат Брендлі. Версія 1.3 від 30.04.2010 на основі пілотної інвентаризації 2009 р. / [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://www.wsl.ch/>

11. Методи визначення водорозчинної органічної речовини. – Київ Держспоживстандарт України. 2008 ДСТУ 4731: 2007.

12. Практикум по агрохимии / Под ред. В. Г. Минеева. – М. : Изд-во МГУ, 1989. – С. 88-89.

13. Титлянова А. А. Биологический круговорот углерода в травяных биогеоценозах / А. А. Титлянова. – Новосибирск : Изд-во «Наука», 1997. – 219 с.

14. Титлянова А. А. Запасы лабильного углерода в экосистемах Западной Сибири / А. А. Титлянова, С. Я. Кудряшова, М. В. Якушин // Почвоведение. – 1999. – № 3. – С. 332-341.

15. Уткин А. И. Фитомасса и углеродэкосистем кедрового станика России (географический аспект) / А. И. Уткин, А. А. Пряжников // География и природные ресурсы. – 1999. – № 1. – С. 77-84.

16. Шпаківська І. М. Дихання ґрунту в екосистемах бореального ряду на верхній межі лісу Чорногори (Українські Карпати): дис... на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук: 03.00.16 / І.М. Шпаківська. – Львів, 2003. – 199 с.

17. Шпаківська І. М., Марискевич О. Г. Оцінка запасів органічного вуглецю в лісових екосистемах Східних Бескидів / І.М. Шпаківська, О.Г. Марискевич // Лісівництво і агроеліорація. – Харків: УкрНДІЛГА, 2009. – Вип. 115. – С. 176-180.

18. Shvidenco A., Dynamics of Fully Stocked Stands in the Territory of the Former Soviet Union/ A. Shvidenko. – WP 96-19. – Laxenburg: IIASA, 1996. – 68 p.

Пулы и потоки углерода в лесных экосистемах Стрийско-Сянской Верховины (Украинские Карпаты). Рожак В.П. – Исследовано основные пулы и потоки, а также баланс углерода и NPP в наиболее репрезентативных лесных экосистемах Стрийско-Сянской Верховины. Соотношение запасов C_{org} в исследованных экосистемах имеет вид: $C_{фитомаса} > C_{гумус} > C_{фитодетрит}$. Баланс углерода рассчитывался за соотношением $R_{hi}NPP$. Установлено, что исследованные экосистемы на современном этапе своего развития характеризуются сбалансированностью процессов NPP и R_h , о чем свидетельствуют небольшие величины NPP.

Ключевые слова: лесные экосистемы, углерод, NPP, NPP, C-CO₂, запасы, потоки, минерализация.